

农村公路桥梁养护管理中的结构健康监测与评估技术

崔敏

印江土家族苗族自治县杉树镇交通管理所, 贵州 铜仁 555200

摘要：农村公路桥梁作为连接城乡、服务农村地区的重要基础设施, 对于促进农村经济社会发展、提升交通通达性具有不可替代的作用。然而, 由于农村地区的特殊地理环境和经济条件, 农村公路桥梁的养护管理往往面临着诸多挑战。其中, 结构健康监测与评估技术是确保桥梁安全运行、预防事故发生的关键环节。基于此, 本文从结构健康监测与评估技术在农村公路桥梁养护管理中的应用意义出发, 详细介绍了几种常见的农村公路桥梁结构健康监测技术及评估技术, 以期推动农村地区交通事业的可持续发展。

关键词：公路桥梁; 养护管理; 结构健康监测; 结构健康评估

Structural Health Monitoring and Evaluation Techniques in Maintenance and Management of Rural Highway Bridges

Cui Min

Traffic Management Office of Cedar Town, Yinjiang Tujia and Miao Autonomous County, Guizhou, Tongren 555200

Abstract: As an important infrastructure connecting urban and rural areas and serving rural areas, rural highway bridges play an irreplaceable role in promoting the economic and social development of rural areas and enhancing transportation accessibility. However, due to the special geographic environment and economic conditions in rural areas, the maintenance and management of rural highway bridges often face many challenges. Among them, structural health monitoring and assessment technology is the key link to ensure the safe operation of bridges and prevent accidents. Based on this, this paper introduces in detail several common rural road bridge structural health monitoring and assessment techniques from the significance of the application of structural health monitoring and assessment techniques in rural road bridge maintenance management, with a view to promoting the sustainable development of transportation in rural areas.

Key words: highway bridge; maintenance management; structural health monitoring; structural health assessment

引言

随着我国经济社会的快速发展, 农村地区的交通基础设施建设也得到了显著的加强, 特别是农村公路桥梁建设的大规模推进, 极大地促进了农产品流通和人员往来, 对提高农村地区的经济发展水平和居民生活质量起到了重要作用。然而, 受限于经费和技术条件, 农村公路桥梁的养护管理水平与城市地区相比还存在不小差距。为了确保桥梁结构的长期稳定性和使用安全, 结构健康监测与评估技术的应用显得尤为迫切和必要。当前, 农村公路桥梁在设计、施工和材料等方面多有欠缺, 并且在使用过程中承受着不断变化的交通荷载、恶劣的自然环境和人为的破坏等诸多因素的影响。这就需要通过有效的结构健康监测来实时掌握桥梁的运行状况, 通过数据分析来评估桥梁的功能和安全状况, 及时发现和处理隐患, 延长服务寿命, 保障交通安全。同时, 建立一套科学、合理、高效的评估体系, 对农村公路桥梁养护管理具有指导意义。

一、结构健康监测与评估技术在农村公路桥梁养护管理的应用意义

(一) 保障桥梁安全

结构健康监测技术可以实时监测桥梁结构的应力、变形等关键参数, 及时发现潜在的结构损伤和安全隐患。通过数据分析与

评估, 可以提前预警, 避免桥梁发生突发性破坏, 确保桥梁安全通行。同时, 评估技术可以对桥梁的结构性能进行定期评估, 准确掌握桥梁的健康状态, 为养护决策提供科学依据, 确保桥梁在服役期间的安全性能^[1]。

(二) 提升养护效率

传统的桥梁养护工作往往依赖于人工巡检和经验判断, 效率

低下且难以发现细微损伤。结构健康监测技术可以实现自动化、智能化的监测,减少人工巡检的频次和劳动强度,提高养护效率。评估技术能够快速准确地判断桥梁的损伤程度和维修需求,为养护工作提供明确的指导,避免盲目维修和过度维修,提高养护工作的针对性和有效性。

(三) 延长桥梁寿命

通过结构健康监测与评估技术的应用,可以及时发现并修复桥梁结构的损伤,防止损伤积累和扩大,从而延缓桥梁的老化和破坏进程,延长桥梁的使用寿命。定期的评估工作可以全面了解桥梁的性能退化情况,为制定合理的养护计划提供依据,确保桥梁在服役期间始终保持良好的性能状态^[2]。

(四) 服务农村经济

农村公路桥梁的安全畅通直接关系到农村地区的交通运输和经济发展。结构健康监测与评估技术的应用可以确保桥梁的安全性,提高交通运输效率,促进农产品的流通和市场拓展,推动农村经济的持续发展。同时,良好的桥梁设施也有助于提升农村地区的对外吸引力,吸引更多的投资和人才流入,进一步推动农村经济的发展。

二、农村公路桥梁结构健康监测技术

(一) 声波测试技术

声波测试技术是一种非破坏性的检测方法,它利用声波在介质中的传播特性来评估材料或结构的内部状况。在公路桥梁结构健康监测中,声波测试技术被广泛应用于检测桥梁内部的缺陷、损伤和空洞等。这种技术基于声波在结构中的传播速度、频率和衰减等参数,来分析结构的完整性和健康状况。声波测试设备主要包括超声波发射器、接收器、传感器和数据分析系统。超声波发射器负责产生高频声波,接收器用于接收经过结构传播后的声波信号,传感器则负责将声波信号转换为电信号,以便进行后续的数据处理和解释。数据分析系统则负责对接收到的信号进行处理、分析和解释,以得出结构的健康状况。

声波测试技术可以有效检测桥梁混凝土内部的空洞、裂缝和夹杂物等缺陷。通过测量声波的传播速度和衰减,可以评估混凝土的均匀性和密度,及时发现潜在的结构问题。其次,桥梁中的钢筋是承受荷载的主要构件,其锈蚀和腐蚀问题直接影响桥梁的安全性和耐久性。声波测试技术可以检测钢筋的锈蚀和腐蚀程度,通过测量声波在钢筋周围的传播特性,评估钢筋的健康状况。同时,桥梁中的焊缝和连接部位是结构的薄弱环节,容易出现裂纹和损伤。声波测试技术可以检测这些部位的缺陷和损伤,确保焊缝的质量和连接部位的可靠性,为桥梁的安全运营提供保障。此外,通过测量桥梁的共振频率和模态,声波测试技术可以评估桥梁的动力性能和稳定性。这对于评估桥梁在运营过程中的安全性和稳定性具有重要意义,可以为桥梁的维护和管理提供有力支持。

(二) 位移监测技术

位移监测技术是通过测量桥梁结构在不同时间点的位置变化,来评估桥梁的安全性和稳定性。位移监测可以及时发现桥梁

的变形和位移异常,为桥梁的维护和管理提供重要信息。位移监测技术包括静态位移监测和动态位移监测两种方法。静态位移监测主要关注桥梁在长时间尺度上的位移变化,而动态位移监测则关注桥梁在运营过程中的动态响应^[3]。

在进行位移监测时,方法有很多,第一,可以利用全站仪进行空间坐标测量,获取桥梁的精确位移数据,全站仪具有高精度、高效率的特点,适用于桥梁的静态位移监测。第二,可以通过全球定位系统对桥梁进行定位,实现高精度的位移监测。GPS监测具有覆盖范围广、实时性强的特点,适用于桥梁的动态位移监测。第三,可以利用合成孔径雷达图像进行位移分析,这种方法主要适用于大范围桥梁的监测,这种非接触、高分辨率的特点也能够实时监测桥梁的位移变化。第四,通过光纤传感器对桥梁的位移进行实时监测,光纤传感技术具有高精度、高灵敏度的特点,能够实时监测桥梁的微小变形^[4]。

位移监测技术涉及大量的数据采集、传输和处理工作。数据处理与分析是位移监测技术的关键环节,首先,要对原始数据进行清洗、去噪和校准,以提高数据的准确性和可靠性。然后将原始数据转换为位移、速度、加速度等物理量,便于后续分析。再从处理后的数据中提取关键特征,如位移趋势、振动频率等,用于评估桥梁的健康状态。最后,再利用提取的特征建立数学模型,预测桥梁的位移变化趋势和潜在风险。

(三) 光纤传感监测技术

光纤传感监测技术是一种基于光纤传感原理的结构健康监测方法。它通过在桥梁结构中埋入或粘贴光纤传感器,利用光纤对光信号的敏感特性,实时监测桥梁的应变、温度、振动等参数^[5]。光纤传感技术具有抗电磁干扰、高精度、长距离传输等优点,特别适用于恶劣环境下的长期监测^[6]。在公路桥梁养护中,光纤传感监测技术应用广泛。首先,可以用于裂缝检测。光纤传感技术可以实时监测桥梁裂缝的发展情况。通过在裂缝处布置光纤裂缝传感器,可以精确测量裂缝的宽度、长度和深度,为评估桥梁的安全性提供重要依据。同时,实时监测还可以及时发现新裂缝的产生,为及时采取养护措施提供指导。其次,可以用于应变监测^[7]。光纤光栅传感器可以埋入桥梁结构内部,实时监测桥梁的应变状态。通过监测关键部位的应变变化,可以及时发现潜在的应力集中区域和损伤发展趋势,为预防性养护和维修提供数据支持。光纤光栅传感器还可以用于监测桥梁的动态应变响应,评估桥梁的动力性能^[8]。同时,可以用于温度监测。光纤温度传感器能够实时监测桥梁的温度分布和变化。通过监测桥梁关键部位的温度变化,可以分析桥梁的温度效应,预测结构变形和应力变化。这对于评估桥梁在极端天气条件下的安全性和稳定性具有重要意义。温度监测还可以为桥梁的预防性养护提供指导,例如针对季节性温度变化采取相应的防护措施。此外,还可以用于振动监测。光纤振动传感器可以监测桥梁的振动响应,通过实时监测桥梁的振动情况,可以评估桥梁的动力特性和运行状态。这对于发现潜在的结构缺陷、评估桥梁的承载能力以及预防共振等安全隐患具有重要意义。振动监测还可以用于监测交通荷载对桥梁的影响,为优化交通管理提供依据。

（四）振动测试技术

振动测试技术通过测量结构在动态荷载作用下的振动响应，来获取结构的模态参数（如固有频率、阻尼比和模态振型）等关键信息。这些参数能够反映结构的动力特性，从而评估结构的健康状况。振动测试技术具有非破坏性、高效率、低成本等优点，广泛应用于桥梁、建筑等工程结构的健康监测^[9]。

振动测试设备主要包括加速度计、位移计、速度计等传感器，以及数据采集与处理系统^[10]。在农村公路桥梁结构健康监测中，加速度计是最常用的传感器之一。通过在桥梁的关键部位安装加速度计，可以实时监测桥梁的振动响应。同时，结合数据采集与处理系统，可以将振动信号转化为数字信号，为后续的结构健康评估提供数据支持。数据采集是振动测试的关键环节。在数据采集过程中，需要注意传感器的布置、采样频率的选择以及环境干扰的控制等因素。通过对采集到的振动信号进行预处理（如去噪、滤波等），可以得到更为准确的振动响应数据。此外，还需要对数据进行时域和频域分析，以提取结构的模态参数^[11]。

三、公路桥梁结构健康评估技术

（一）结构可靠性评估法

结构可靠性评估法主要是通过对桥梁结构的承载能力、变形能力等进行综合分析，评估其在实际使用中的可靠性。这种方法能够全面考虑结构材料的性能退化、环境因素的影响等因素，为桥梁的维护和管理提供重要依据。在进行评估时，要先收集桥梁的设计资料、施工记录、历史检测数据等，为后续评估提供基础数据。然后，根据收集的数据，采用有限元分析等方法，对桥梁的承载能力进行分析，判断其是否满足设计要求。再通过对桥梁的变形监测数据进行分析，评估其在不同荷载下的变形情况，判断其是否满足使用要求。评估时，还需要考虑温度、湿度、腐蚀等环境因素对桥梁结构的影响，对结构可靠性进行综合评估。最后，根据以上分析，得出桥梁结构的可靠性评估结果，为后续的维护和管理提供依据。

（二）结构损伤评估法

结构损伤评估法主要是通过检测桥梁结构的损伤情况，评估其对桥梁整体安全性的影响。这种方法能够及时发现桥梁结构的损伤，为桥梁的维修和加固提供重要依据^[12,13]。在评估时，采用无损检测技术对桥梁结构进行全面检测，发现潜在的损伤。然后，根据检测到的损伤情况，结合桥梁的设计资料和使用情况，对损伤程度进行评估。根据损伤程度评估结果，对桥梁的安全性进行分析，判断其是否需要维修或加固。最后，根据安全性分析结果，提出相应的维修或加固建议，确保桥梁的安全运营。

（三）结构性能评估法

结构性能评估法是对桥梁结构的承载能力、变形性能、振动特性等进行分析和评估的方法。该方法通过对桥梁结构的实际性能进行检测和测试，与设计要求进行对比，从而判断桥梁结构的性能状态。其通常包括承载能力评估、变形性能评估及振动特性评估。评估时通常采用有限元分析、荷载试验、动力测试等手段，对桥梁结构的性能进行全面评估^[14]。

（四）结构安全等级评估法

结构安全等级评估法是根据桥梁结构的损伤程度、承载能力、变形性能等因素，对桥梁结构的安全等级进行划分和评估的方法^[15]。该方法旨在明确桥梁的安全状态，为桥梁的管理和维护提供决策支持。评估时，首先对桥梁结构进行全面检测，评估其损伤程度。然后根据桥梁的实际承载能力与设计要求的对比，评估其承载能力状态。再分析桥梁结构的变形数据，评估其变形性能状态。最后综合考虑损伤程度、承载能力、变形性能等因素，对桥梁结构的安全等级进行划分。

四、结语

随着科技的不断进步和应用需求的日益提升，农村公路桥梁养护管理中的结构健康监测与评估技术正面临着前所未有的发展机遇。展望未来，结构健康监测与评估技术将在农村公路桥梁养护管理中发挥更加重要的作用。一方面，随着传感器技术、大数据处理、人工智能等先进技术的发展和应用，结构健康监测与评估技术的精度和效率将得到进一步提升。另一方面，随着对农村公路桥梁养护管理重要性认识的提高和投入的增加，这些技术将得到更广泛的应用和推广。未来，应继续关注和研究这些技术的发展和运用，为农村公路桥梁的养护管理提供更加科学、有效的技术支持和保障。

参考文献

- [1] 陈光. 公路桥梁健康监测技术的应用探究[J]. 中国公路, 2020,(09):100-101.
- [2] 张文会. 提高公路桥梁试验检测水平的措施[J]. 工程技术研究, 2018,(16):119-120.
- [3] 晏务强. 深层位移自动化监测技术在公路边坡(滑坡)治理工程中的应用[J]. 产业科技创新, 2022,4(02):62-64.
- [4] 王树威, 钱越, 桂志敬等. 基于实时监测技术的公路边坡稳定性评价研究[J]. 交通标准化, 2013,(06):8-13.
- [5] 王惊华. 结构健康监测国内外规范编制研究现状及展望[J]. 建筑安全, 2021, 36(04):41-45.
- [6] 李争, 李伟. 土木工程结构安全性在线评估及监测技术研究[J]. 粘接, 2022, 49(06):138-142.
- [7] 李方甫. 桥梁施工应力监测分析与维修加固技术研究[J]. 北方交通, 2021, (03):28-30+35.
- [8] 马恩宇. 试析路桥施工检测技术的关键问题[J]. 居舍, 2020,(10):58.
- [9] 唐涛, 蔡华俊. 公路桥梁施工中应变监测相关技术研究[J]. 四川水泥, 2021,(10):263-264.
- [10] 高培松. 公路隧道上跨供水隧洞爆破振动监测技术浅析[J]. 福建建筑, 2015,(05):88-90.
- [11] 易小纬. 健康监测技术在市政桥梁结构安全评估中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2023,(18):110-112.
- [12] 卢露. 基于5G技术的结构监测评估系统在桥梁监测中的应用探析[J]. 电脑知识与技术, 2023,19(29):106-107+110.
- [13] 唐礼平, 曹益, 章蓓蓓等. 结构健康监测在土木工程中的研究状况与进展[J]. 兰州工业学院学报, 2022,29(04):21-26.
- [14] 马毅. 公路桥梁的检测技术及其发展趋势[J]. 交通世界(建养·机械), 2012, (12):262-263.
- [15] 李敏莉. 土木工程结构安全性在线评估及监测技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023,(18):220-222.